

Jurnal ***Rekayasa Elektrika***

VOLUME 14 NOMOR 2

AGUSTUS 2018

Sistem Monitoring Online dan Analisa Performansi PLTS Rooftop Terhubung
Grid PLN 136-144

Habib Satria dan Syafii

JRE	Vol. 14	No. 2	Hal 83-144	Banda Aceh, Agustus 2018	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	------------	-----------------------------	--------------------------------------

Sistem Monitoring Online dan Analisa Performansi PLTS Rooftop Terhubung ke Grid PLN

Habib Satria dan Syaffi

Program Studi Magister Teknik Elektro, Universitas Andalas

Kampus Limau Manis, Sumatera Barat, Padang 25163

e-mail: habibsatria222@gmail.com

Abstrak—Artikel ini memaparkan sistem monitoring online dan analisa performansi PLTS pada berbagai kondisi cuaca. Sistem monitoring PLTS terdiri dari rangkaian sensor Arduino dan rancangan tampilan hasil monitoring dibangun menggunakan pemrograman *Visual Basic.Net*. Pengujian sistem monitoring diaplikasikan pada PLTS 1,25 kW yang terpasang di atas gedung Jurusan Teknik Elektro, Universitas Andalas. Sistem PLTS rooftop terhubung ke grid PLN menggunakan 5 unit panel surya 250 Wp dan dipasang flat secara seri terhubung ke beban melalui grid tie inverter 2 kW. Proses pengambilan data hasil monitoring berlangsung secara real time dan ditampilkan dalam bentuk data tabel dan grafik. Informasi data sistem PLTS berasal dari sensor-sensor tersambung ke perangkat Arduino yang terhubung ke sebuah PC. Selanjutnya data yang terekam menggunakan *software Visual Basic.Net* di konversi ke dalam *Microsoft Excel* sehingga dapat dianalisa lebih lanjut. Analisa performansi PLTS terdiri dari proses sinkronisasi, kurva daya dan energi listrik yang dapat dihasilkan oleh PLTS rooftop. Panel surya rata-rata mulai menghasilkan tenaga listrik dari jam 7:00 pagi hingga 6:00 sore untuk cuaca cerah, namun untuk cuaca hujan daya listrik PLTS menurun dan terputus lebih awal sebelum matahari terbenam. Hasil yang disajikan menunjukkan bahwa kinerja sistem PLTS terhubung jaringan PLN sangat tergantung dari kondisi cuaca. Data hasil monitoring potensi daya dan energi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai parameter pertimbangan kelayakan pemasangan PLTS rooftop pada daerah tropis.

Kata kunci: sistem monitoring, PLTS, *Visual Basic.Net*, Analisa performansi PLTS rooftop

Abstract—This paper presents an online monitoring system and PV system performance analysis under various weather conditions. The PV monitoring system consists of an Arduino sensors circuit, and a design monitor display built using *Visual Basic.Net* programming. The monitoring system was applied to the 1.25 kW PV system mounted on the roof of the Department of Electrical Engineering, Andalas University. The rooftop PV system is connected to the PLN grid using five units of 250 Wp polycrystalline solar panels and mounted flat in series connected to the load through a 2 kW grid tie inverter. The process of data retrieval of the results of the monitoring took place in real time and displayed in the form of data tables and graphs. The data information of the PV system comes from the sensors connected to the Arduino device which then connected to a PC. Furthermore, data recorded using *Visual Basic.Net* software converted into *Microsoft Excel* so it can be analysed further. The PV system performance analysis consists of the synchronisation process, power curve and electrical energy that can be generated by a rooftop PV system. The average solar panels start generating electricity from 7:00 am to 6:00 pm for sunny weather, but for rainy weather, the power of the PV goes down and disconnects early before sunset. The results presented show that the performance of PV systems connected to the PLN network is highly dependent on weather conditions. The monitoring result of power and energy potency can be used as a consideration parameter for a feasibility study of rooftop PV system installed in the tropical area.

Keywords: monitoring system, PV system, *Visual Basic.Net*, Performance analysis of rooftop PV system

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu negara yang dilalui oleh garis khatulistiwa dan beriklim tropis sehingga potensi energi matahari di Indonesia cukup tinggi. Potensi sumber daya alam Indonesia sangat besar terutama dari potensi energi surya apabila dapat dieksploitasi dengan tepat. Potensi energi matahari harian rata-rata mencapai 4.8

kWh/m² karena sinar matahari tersedia hampir dari pagi sampai sore [1]. Energi matahari dapat dimanfaatkan dengan bantuan panel surya, yaitu dengan mengkonversi langsung radiasi matahari menjadi energi listrik.

Sumatera Barat yang kaya akan sumber daya alamnya memiliki banyak peluang dalam mengelola energi surya dikarenakan berada dekat dengan garis khatulistiwa tepatnya di Bonjol (Kabupaten Pasaman Timur). Hal



(a) di atas rumah tinggal



(b) di atas bangunan gedung

Gambar 1. PLTS rooftop [11]

tersebut juga didukung dengan data BMKG Sumatera Barat dimana, potensi penyinaran paling ideal, yaitu mencapai 11 jam perhari [2]. Akan tetapi kinerja panel surya sangat tergantung dari kondisi cuaca, yaitu radiasi matahari dan suhu lingkungan [3].

PLTS rooftop merupakan salah satu teknologi pembangkit listrik masa depan yang sangat ramah lingkungan dan dapat menjadi solusi penghematan terhadap tingginya tarif listrik saat ini. Selain ramah lingkungan, efek *shading* yang minim pada PLTS rooftop sangat efisien dipasang pada atap suatu bangunan atau gedung. Pemasangan PLTS di atas atap dikenal dengan PLTS rooftop. PLTS rooftop memiliki kelebihan bebas dari efek *shading* yang akan berdampak baik pada penyerapan energi matahari [4]. Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS Rooftop sebagai suplay daya tambahan yang terhubung langsung pada jaringan PLN akan saling mengimbangi dan mengurangi beban pada sistem jaringan listrik yang ada, terutama saat beban puncak. Dalam operasionalnya dibutuhkan suatu sistem *monitoring* yang dapat memantau aktivitas konversi energi matahari menjadi energi listrik sehingga dapat meningkatkan keandalan dan keamanan sistem. Untuk melihat kinerja yang dihasilkan oleh PLTS rooftop yang terhubung ke jaringan PLN diperlukan suatu sistem monitoring yang handal dan akurat dalam memantau parameter listrik dan kondisi lingkungan.

Beberapa teknik monitoring dan sistem koleksi data pembangkit listrik surya telah diusulkan dan dikembangkan. Teknik *monitoring* dan kontrol PLTS berbasis GSM sebelumnya sudah pernah dikembangkan oleh Gagliarducci. Teknik *monitoring* berbasis GSM ini telah terbukti murah dan teruji keefektifitasannya [5]. Teknik lainnya yaitu, untuk *monitoring* PLTS dan PLTB menggunakan media komunikasi Zigbee [6],[7]. Kedua artikel tersebut fokus pada manajemen peralatan *monitoring* terhadap penempatan Fotovoltaik. Selanjutnya teknik *monitoring* menggunakan jaringan sensor nirkabel dan penggunaan sistem penyimpanan *cloud* untuk menangani data yang besar telah dilakukan [8]. Akan tetapi rancangan tampilan hasil *monitoring* dan penggunaan software Visual Basic.Net belum banyak dibahas.

Pada penelitian ini telah dirancang sistem monitoring menggunakan rangkaian sensor arduino, sistem komunikasi dan pemrograman berbasis GUI. Bahasa pemrograman Visual Basic.NET memiliki kemampuan yang baik

untuk menghasilkan aplikasi berbasis GUI. Penggunaan bahasa pemrograman ini akan lebih mempermudah dalam pemantauan secara langsung dari waktu ke waktu terhadap informasi yang masuk. Pengolahan data serta aktivitas yang terjadi terekam oleh personal computer dalam bentuk grafik ataupun text. Sistem monitoring *real time* PLTS rooftop akan membantu pengguna dalam memantau kondisi cuaca, aliran daya listrik PLTS dari/ ke grid PLN [9]. Di samping itu, sistem monitoring mempermudah dalam mengevaluasi efisiensi keluaran daya panel surya. Selain itu hasil *monitoring* potensi daya dan energi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai parameter pertimbangan kelayakan pemasangan PLTS rooftop.

II. SISTEM MONITORING PLTS ROOFTOP

A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop

Instalasi pembangkit tersebar dari sumber energi terbarukan terus meningkat di berbagai negara dengan adanya kebijakan energi terbarukan dan pengurangan emisi karbon. Pengurangan subsidi listrik dan pemberlakuan insentif penggunaan pembangkit listrik surya menyebabkan peningkatan pengembangan dan pembangunan PLTS di atas rumah dan gedung [10]. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan menggunakan modul surya fotovoltaik yang dipasang di atap bangunan seperti Gambar 1.a dan 1.b dikenal dengan PLTS rooftop. Selain ramah lingkungan PLTS rooftop dapat memanfaatkan lahan yang ada sehingga akan mengurangi biaya investasi lahan dan dapat turut mengurangi rugi-rugi jaringan karena letaknya yang dekat atau pada pusat-pusat beban.

Pemerintah mendorong pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber energi di bangunan-bangunan perkantoran yang hampir seluruhnya menggunakan listrik dari jaringan PLN sehingga dapat menekan penggunaan bahan bakar minyak dan penurunan emisi CO₂. Pemanfaatan energi terbarukan yang cocok untuk perkantoran adalah pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), karena mayoritas gedung perkantoran menggunakan listrik pada siang hari atau jam kerja. Panel surya merupakan salah satu teknologi pembangkit listrik energi terbarukan yang ramah lingkungan dan dapat menjadi solusi terhadap krisis energi listrik masa depan sehingga menjadi alternatif yang paling banyak dikembangkan.

Saat ini pemerintah telah mengeluarkan *roadmap* pemanfaatan energi surya yang menargetkan kapasitas PLTS terpasang hingga tahun 2025 adalah sebesar 0.87 GW atau sekitar 50 MWp/tahun. Jumlah ini merupakan gambaran potensi pasar yang cukup besar dalam pengembangan energi surya *off grid* maupun *on grid* di masa yang akan datang. Sejalan dengan itu komponen pendukung sistem PLTS terutama yang terhubung ke *grid* perlu terus dikembangkan.

Salah satu alat untuk merekam aliran daya sistem PLTS menggunakan energi *logger* dan untuk pengendalian menggunakan sistem pengendali. Data *logger* adalah peralatan elektronik untuk merekam data yang terbaca pada lokasi penempatan sensor dari waktu ke waktu. Kebutuhan data *logger* untuk melengkapi sistem energi *monitoring* dan pengendali mekanisme operasi pembangkit listrik energi surya baik yang *isolated* atau yang terhubung ke *grid* semakin besar.

Dengan perkembangan teknologi komunikasi data, pengoperasian sistem tenaga listrik dapat disupervisi dan dimonitor dari jarak jauh. Penggunaan teknologi informasi dan komunikasi dalam pembangkitan, pendistribusian dan pemakaian energi listrik terus meningkat yang dikenal dengan *smart grid* [12]. Oleh karena itu, untuk suksesnya penerapan *smart grid*, diperlukan penelitian yang intensif memanfaatkan teknologi maju dalam sistem metering, operasi, dan kendali sistem tenaga listrik.

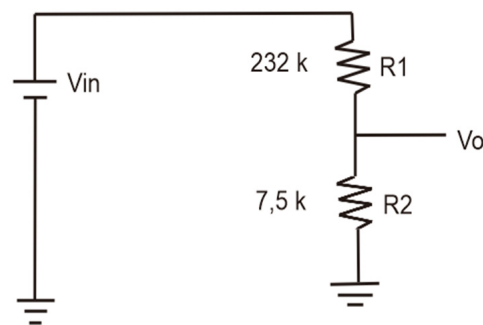
B. Sistem Monitoring PLTS Rooftop

Perancangan sistem monitoring PLTS sangat diperlukan, salah satu aplikasi yang dapat digunakan untuk memantau performa aliran energi listrik yang dihasilkan PLTS adalah software Visual Basic.Net. Bahasa pemrograman Basic merupakan turunan dari Visual Basic yang dapat menghasilkan perangkat lunak komputer basis grafik dengan cepat. Salah satu kelebihan VB.Net memungkinkan penggunaanya dapat berkreasi dalam menghasilkan suatu program aplikasi yang dapat terhubung ke jaringan internet. Dasar pembuatan VB.Net yaitu *Form* dimana pengguna dapat mengatur tampilan *form* kemudian dijalankan di *script* yang mudah dan fleksibel.

Untuk mendapatkan besaran ukur listrik PLTS menggunakan sensor-sensor. Pembacaan tegangan output PLTS *rooftop* diperoleh dari pembacaan sensor tegangan ZMPT101B. Sensor ZMPT101B menggunakan prinsip kerja pembagi tegangan. Dengan menggunakan resistor 202k pada R1 sehingga total tahanan pada R1 menjadi 232k sehingga Modul ini dapat mengurangi tegangan input hingga 32 kali dari tegangan sumbernya. Sehingga rating tegangan pada sensor ini maksimal 160V. Gambar rangkaian sensor tegangan seperti Gambar 2.

Pembacaan sensor hanya dalam bentuk bilangan biner dari 0 sampai 1023. Untuk pembacaan tegangan keluaran panel surya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Volt} = (\text{sensor tegangan DC} \times 0,146). \quad (1)$$



Gambar 2. Rangkaian ekuivalensi sensor tegangan

Pembacaan arus keluaran PLTS *rooftop* diperoleh dari pembacaan sensor ACS712. Sensor ACS712 merupakan modul untuk mendeteksi besar arus yang mengalir melalui rangkaian Panel Surya yang telah diberi beban. Sensor ACS712 dapat mengukur maksimal arus positif dan negatif dengan kisaran -30A sampai 30A dan Sensor akan bekerja pada suplai daya sebesar 5V. Sensor ini memiliki nilai tengah (nol Ampere) yang terbaca sebesar 507 saat tidak ada beban. Pembacaan sensor arus, *I*, pada *analog read* dirumuskan sebagai berikut:

$$I = \frac{(507 - \text{SENSOR ARUS DC})}{12,9}. \quad (2)$$

Kelembaban dan Suhu diukur menggunakan sensor DHT11. Sensor DHT11 memiliki kemampuan yang dapat mengukur dua parameter sekaligus yaitu berupa suhu dan kelembaban yang telah memiliki kalibrasi terdapat dalam library yang telah disediakan arduino. Sensor ini memiliki keunggulan kualitas pembacaan data yang sangat baik, responsif dan tidak mudah terinterferensi. Selain itu Panel surya yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik memiliki kapasitas 250 Wp yang berjenis polycrystalline. Untuk karakteristik dan spesifikasi panel surya dilihat pada Tabel 1.

Pada rangkaian PLTS ini panel surya terhubung langsung melalui *Grid Tie Inverter* menuju beban PLN tanpa melalui sumber *backup (battery)*. System ini bekerja secara sinkron dan otomatis berbagi beban antara PLTS dan PLN. Untuk karakteristik dan spesifikasi *Grid Tie Inverter* dilihat pada Tabel 2.

Besar daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh PLTS dapat dihitung dengan menggunakan hasil pengukuran tegangan dikali dengan arus. Sedangkan besar energi listrik yang dapat dibangkitkan PLTS dihitung menggunakan Persamaan (3):

$$\sum Wh = \sum (P \times t), \quad (3)$$

dimana,

$\sum Wh$ = Total energi PLTS/pemakaian beban (Wattjam)

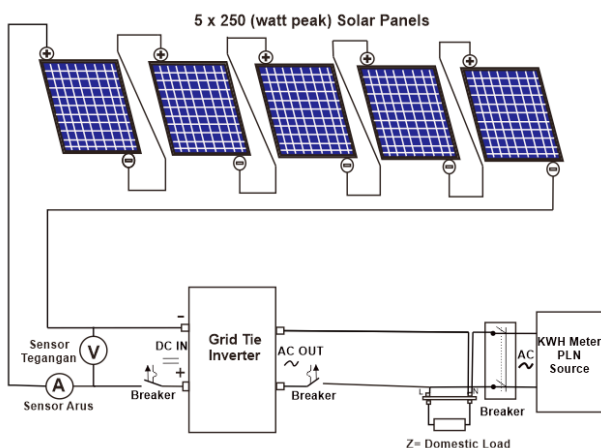
P = Daya beban (Watt)

t = interval waktu (jam)

Besar energi listrik yang dapat dibangkitkan PLTS dalam satu tahun dihitung menggunakan Persamaan (4):

Tabel 1. Spesifikasi panel surya

Characteristics	Specification
Maximum Power (Pmax)	250Wp
Power Tolerance	+ 3%
Max. Power Voltage at Pmax (Vmp)	30.50V
Max. Power Current at Pmax (Imp)	8.21A
Open-Circuit Voltage (Voc)	37.60V
Short-Circuit Current (Isc)	8.67A
Weight (kg)	19kg
Dimension of Module (mm)	1640 x 992 x 40 mm
Pmax Temperature Coefficient (%)	-0.44
Voc Temperature Coefficient (%)	-0.30
Isc Temperature Coefficient (%)	+0.05
Maximum System Voltage (VDC)	1000V (TUV); 600V (UL)
Maximum Series Fuse Rating (A)	15A
Operating Temperature (OC)	-40 to +85
Normal Operating Cell Temp (NOCT)	45 2
Application Class	Grade-A
Cell Technology	Poly-Si
Certification	ISO9001/ISO14001/ OHSAS18000

Gambar 3. Blok PLTS terhubung ke *grid* PLN

$$E_{setahun} = \sum Wh \times 365 \text{ hari} / \text{tahun}, \quad (4)$$

Sedangkan besar penghematan dari pemasangan PLTS *rooftop* dihitung menggunakan persamaan (5) berikut:

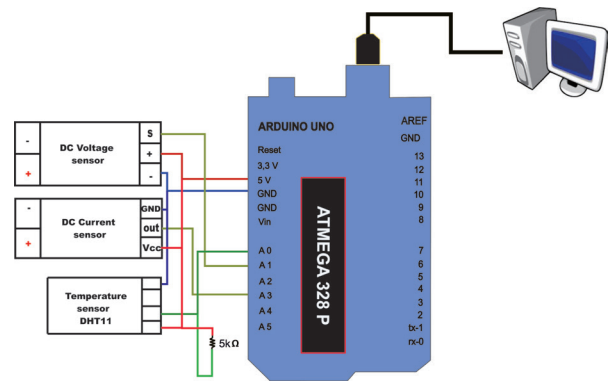
$$\text{Penghematan energi} = E_{setahun} \times \text{Tarif Listrik}. \quad (5)$$

III. METODE

Dalam penelitian ini digunakan PLTS *rooftop* yang terhubung ke Jaringan PLN dengan beban Jurusan Teknik Elektro Unand. Untuk melihat keefektifan panel surya maka dirancang suatu *monitoring* agar keluaran panel surya dapat dipantau secara langsung dan *real time* menggunakan software Visual Basic. NET. Data yang diambil adalah data kelistrikan berupa keluaran dari panel

Tabel 2. Spesifikasi *grid tie inverter*

Characteristics	Specification
Model	2K-SM
Maximum PV array open-circuit voltage	500 Vdc
Maximum total PV array short-circuit current	13 A
Nominal input voltage	360 Vdc
PV input operating voltage range	150 Vdc-450 Vdc
Nominal output voltage	230 Vac
Nominal output frequency	50 Hz
Maximum continuous output current	11 A
Nominal active power Pn	2200 W
Power factor (Cos phi)	>0,99
Ingress protection	IP65
Protect class	I



Gambar 4. Skema rangkaian monitoring PLTS

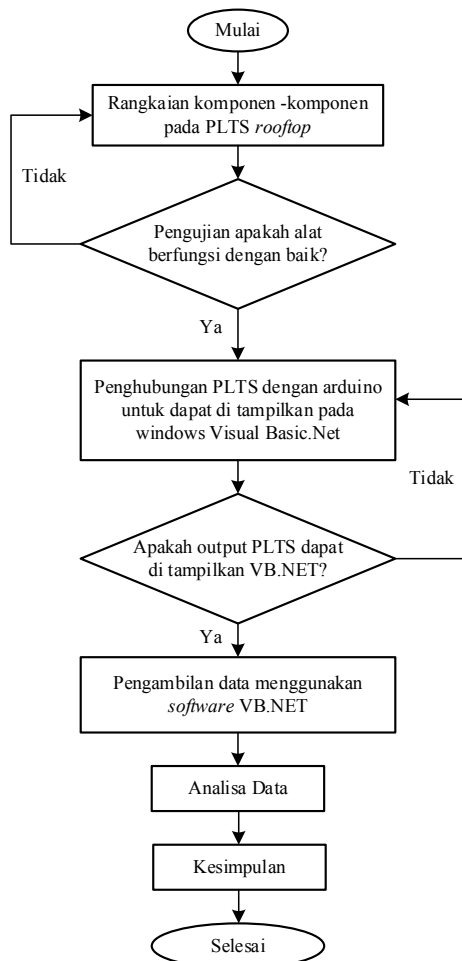
surya (tegangan DC, arus DC, daya DC), dan data kondisi lingkungan (suhu/ kelembaban). Diagram blok sistem dari PLTS *rooftop* yang berada di atap bangunan Jurusan Teknik Elektro UNAND sebagaimana diperlihatkan Gambar 3.

Gambar 3. Blok PLTS terhubung ke *grid* PLN

Panel surya yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik terdiri dari 5 panel surya produk ICA Solar yang mana memiliki kapasitas 250 Wp per panelnya. Untuk komponen lainnya terdiri dari: *Grid Tie Inverter*, mikrokontroler arduino, Sensor arus 30A DC (ACS712), Sensor Tegangan DC, dan Sensor Suhu/kelembaban.

Alat yang digunakan untuk memonitor panel surya terdiri dari beberapa sensor seperti sensor tegangan dan sensor arus serta sensor suhu/kelembaban yang dikendalikan menggunakan arduino uno. Berdasarkan perhitungan arus dan tegangan dari keluaran fotovoltaiik dan perhitungan arus dan tegangan dari keluaran inverter pada saat berbeban, Rangkaian dari sistem *monitoring* menggunakan arduino dapat dilihat pada Gambar 4.

Pengolahan data dilakukan dengan memanfaatkan sebuah PC dengan menggunakan Software Visual Basic. Net dan data diambil secara *real time*. Ada beberapa tahapan pengujian yang dilalui dalam pengolahan data yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Flowchart prosedur pengujian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

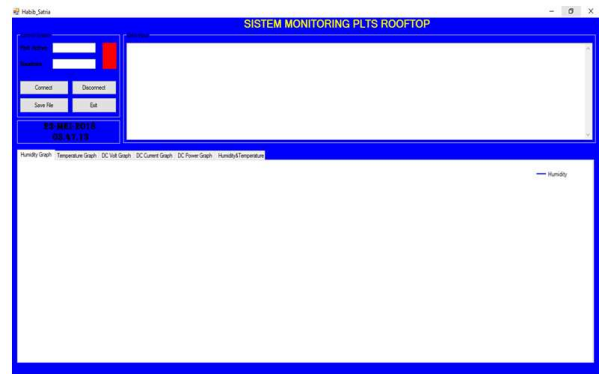
A. Hasil Pengujian Komponen Sensor

Pengujian Sensor Tegangan ZMPT101B dan Sensor Arus ACS712 yang dikalibrasikan dengan multimeter dengan menggunakan Photovoltaic 5 buah yang tersusun secara seri yang terhubung pada *Grid Tie Inverter* dengan beban JTE UNAND. Dari hasil pengujian bahwa sensor tegangan memiliki rata-rata galat sebesar 1.058 %, dan sensor arus memiliki rata-rata galat sebesar 6,966%.

Hasil kalibrasi alat menggunakan multitester seperti pada Tabel 3 dan Tabel 4 yang dihasilkan PLTS Rooftop didapatkan galat rata-rata untuk pengukuran tegangan dan arus sebagai berikut, 1,058 % dan 6,96 %. Besarnya galat rata-rata pada sensor arus saat berbeban dikarenakan timbulnya panas berlebih pada rangkaian yang telah bekerja beberapa jam sebelumnya. Sensor ACS712 sangat sensitif terhadap suhu, dimana idealnya bekerja pada sekitar suhu 25⁰ C.

B. Hasil Perancangan Sitem Monitoring Interface VB.Net

Sistem *monitoring* bertujuan untuk mengetahui kondisi aliran energi listrik yang dihasilkan oleh PV terhubung *Grid Tie Inverter* dengan beban JTE UNAND.



Gambar 6. Desain form Visual Basic.NET

Tabel 3. Hasil kalibrasi sensor tegangan

No Pengujian	Alat Ukur Multimeter (Volt)	Sensor ZMPT101B (Volt)	Galat (%)
1	129,3 V	128,00 V	1,00
2	129,1 V	128,00 V	0,85
3	128,5 V	127,00 V	1,17
4	127,5 V	126,00 V	1,18
5	128,4 V	127,00 V	1,09

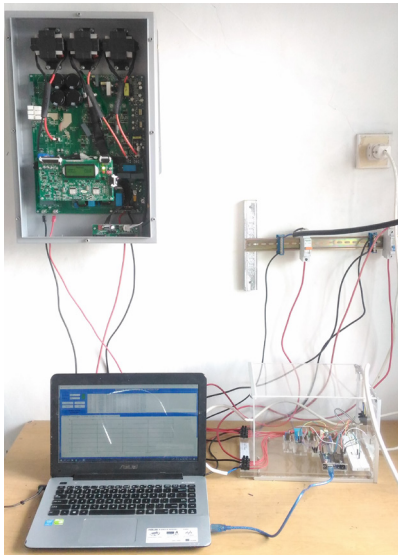
Tabel 4. Hasil kalibrasi sensor arus

No Pengujian	Alat Ukur Multimeter (Arus)	Sensor ACS712 (Arus)	Galat (%)
1	3,23 A	3,02 A	6,50
2	3,07 A	2,87 A	6,51
3	3,18 A	2,95 A	7,23
4	3,27 A	3,02 A	7,65
5	3,17 A	2,95 A	6,94

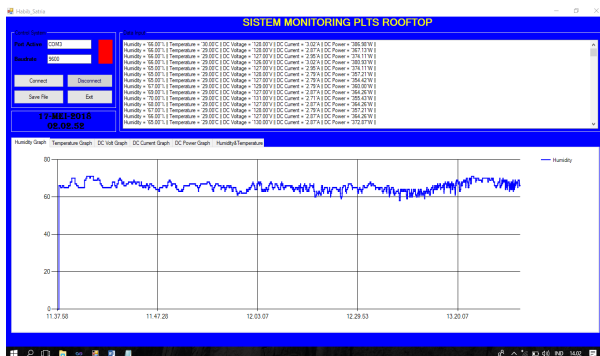
Sistem *monitoring* berbasis VB.NET berguna membantu peneliti dalam pengolahan data dan mengetahui performa keefisienan dari PV itu sendiri. Rancangan ini berupa *interface* dari pembacaan beberapa sensor untuk divisualkan dalam bentuk data dan grafik secara *real time*.

Sistem *monitoring* atau pemantau bertujuan untuk mengatur dan mengetahui konversi energi PLTS rooftop sebagai catu daya tambahan pada beban JTE UNAND yang terkoneksi jala-jala jaringan listrik PLN. Sistem *monitoring* ini menggunakan software Visual Basic.NET yang dikomunikasikan dengan Arduino Atmega328P. Variabel yang dimonitor adalah suhu/kelembaban, tegangan DC, tegangan AC, arus DC, arus AC, daya DC, dan daya AC. Semua data yang dimonitor terekam secara langsung dan *real time* pada *Personal Computer*, selanjutnya data diolah berdasarkan data yang masuk. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 6, dimana *form* terdiri dari 3 toolbox, 6 tab control, 6 label, 4 button, 6 kurva dan 1 picture box.

Untuk melakukan pengujian maka diintegrasikan seluruh komponen-komponen yang terdiri dari beberapa sensor, arduino, PV, *Grid tie inverter* yang terhubung pada beban JTE Unand dan pengujian dilakukan di lab JTE



Gambar 7. Rangkaian pengujian dan pengambilan data



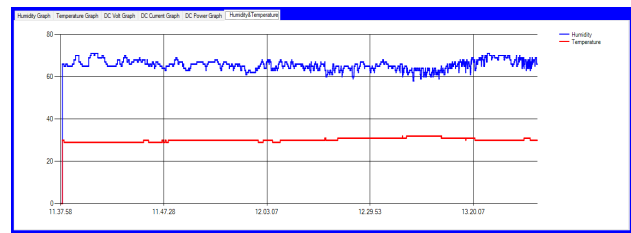
Gambar 8. Tampilan monitoring menggunakan VB.NET

Unand. Rangkaian pengujian seperti dapat dilihat pada Gambar 7.

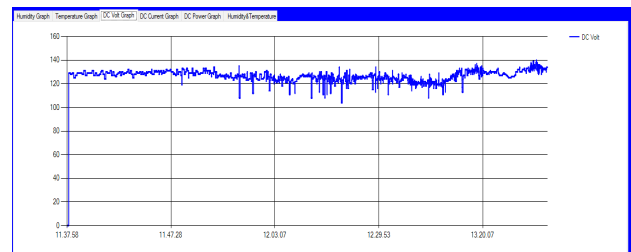
Data hasil pengukuran airan daya pembangkit listrik tenaga surya akan dimonitor menggunakan transduser arus dan tegangan dan ditampilkan dalam bentuk grafik dan text. Rancangan tampilan hasil monitoring telah dibangun dengan bahasa pemrograman Visual Basic.Net menghasilkan aplikasi berbasis GUI yang dapat merekam data dan disimpan pada Microsoft Excel. Tampilan hasil *monitoring* tersebut dapat dilihat pada Gambar 8. Visualisasi hasil *monitoring* ditampilkan dalam bentuk grafik berupa kurva temperatur dan kelembaban Gambar 9, kurva tegangan Gambar 10 dan kurva arus searah Gambar 11, dan sekaligus dapat ditampilkan kurva daya yang dihasilkan PLTS Gambar 12.

Hasil pengukuran tersebut, energi yang terserap dari panel surya yang maksimal sebesar 123 V dan 7,91 A dan daya 972,56 W dimulai dari jam 11:37:58 sampai jam 14:02:52. Data historis yang terekam melalui interface VB.Net ditunjukkan pada Tabel 5.

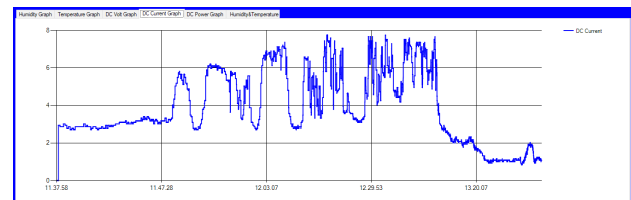
Sistem *monitoring* panel surya dapat merekam data tegangan, arus, dan daya selama proses sinkronisasi antara photovoltaik dan jaringan listrik PLN, pada waktu sore dan pada waktu pagi. Panel surya rata-rata mulai menghasilkan tenaga dari jam 7:00 pagi hingga 6:00 sore. Waktu daya



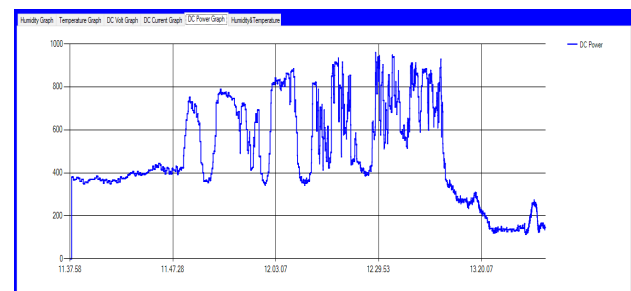
Gambar 9. Grafik kelembaban dan suhu



Gambar 10. Grafik tegangan DC



Gambar 11. Grafik arus DC



Gambar 12. Grafik daya DC

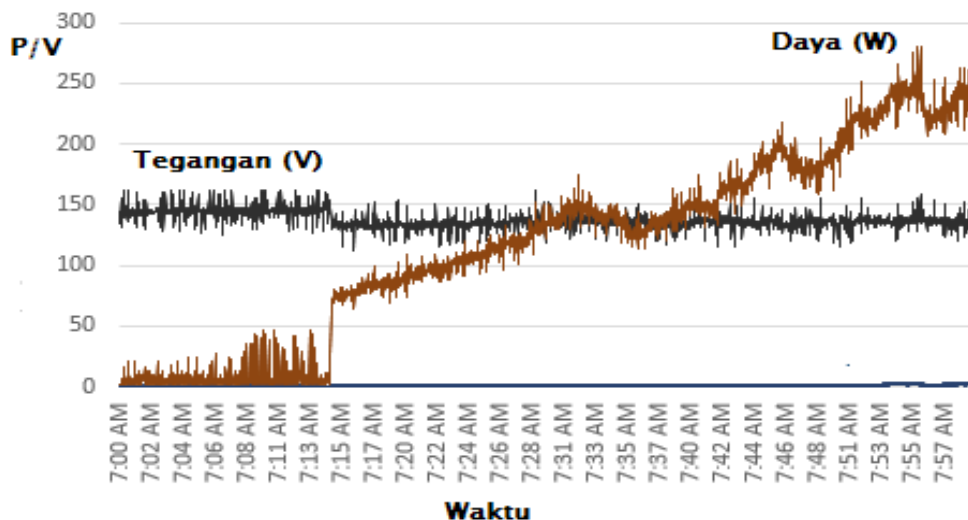
Performansi Pada Saat Sinkronisasi

Panel surya mulai menghasilkan tenaga dari jam 7 pagi hingga jam 6 sore seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 dan 14. Selama 12 jam kerja PLTS *on grid* dapat menghasilkan tenaga listrik per hari. Daya rata-rata yang dipasang ke jaringan adalah 565 Wp. Dengan menggunakan persamaan (4), energi yang dihasilkan oleh sistem PV adalah 6.780 Wh per hari. Setelah satu tahun dioperasikan, energi yang dihasilkan akan menjadi 1.838.47 kWh. Penghematan energi dapat diperoleh dikali dengan tarif PLN sekarang menggunakan persamaan (5).

Sistem PLTS terhubung ke *grid* pada jam 7:14 dan keluar dari *grid* pada 5:54 PM seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14. Proses sinkronisasi dengan *grid* PLN telah terjadi sekitar jam 7:08 pagi, tetapi karena daya yang dihasilkan belum cukup besar maka masih terjadi beberapa kali lepas sinkron sampai pada jam 7:14 sistem baru berhasil paralel dengan *grid* PLN. Penurunan tegangan sebesar 10-12 V terjadi saat kondisi berbeban setelah disinkronkan pada waktu pagi hari.

Tabel 5. Data Historis yang terekam melalui interface VB.Net

No	HUMIDITY	TEMPERATUR	DC VOLTAGE	DC CURRENT	DC POWER
1	Humidity = '66.00' %	Temperature = '30.00' C	DC Voltage = '128.00' V	DC Current = '3.02' A	DC Power = '386.98' W
2	Humidity = '66.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '128.00' V	DC Current = '2.87' A	DC Power = '367.13' W
3	Humidity = '66.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '127.00' V	DC Current = '2.95' A	DC Power = '374.11' W
4	Humidity = '66.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '126.00' V	DC Current = '3.02' A	DC Power = '380.93' W
5	Humidity = '65.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '127.00' V	DC Current = '2.95' A	DC Power = '374.11' W
6	Humidity = '65.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '128.00' V	DC Current = '2.79' A	DC Power = '357.21' W
7	Humidity = '65.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '127.00' V	DC Current = '2.79' A	DC Power = '354.42' W
8	Humidity = '67.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '129.00' V	DC Current = '2.79' A	DC Power = '360.00' W
9	Humidity = '69.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '127.00' V	DC Current = '2.87' A	DC Power = '364.26' W
10	Humidity = '70.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '131.00' V	DC Current = '2.71' A	DC Power = '355.43' W
11	Humidity = '68.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '127.00' V	DC Current = '2.87' A	DC Power = '364.26' W
12	Humidity = '67.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '128.00' V	DC Current = '2.79' A	DC Power = '357.21' W
13	Humidity = '66.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '127.00' V	DC Current = '2.87' A	DC Power = '364.26' W
14	Humidity = '65.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '130.00' V	DC Current = '2.87' A	DC Power = '372.87' W
15	Humidity = '65.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '127.00' V	DC Current = '2.87' A	DC Power = '364.26' W
16	Humidity = '65.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '128.00' V	DC Current = '2.87' A	DC Power = '367.13' W
17	Humidity = '67.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '127.00' V	DC Current = '2.95' A	DC Power = '374.11' W
18	Humidity = '70.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '128.00' V	DC Current = '2.95' A	DC Power = '377.05' W
19	Humidity = '71.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '128.00' V	DC Current = '2.87' A	DC Power = '367.13' W
20	Humidity = '70.00' %	Temperature = '29.00' C	DC Voltage = '127.00' V	DC Current = '2.87' A	DC Power = '364.26' W



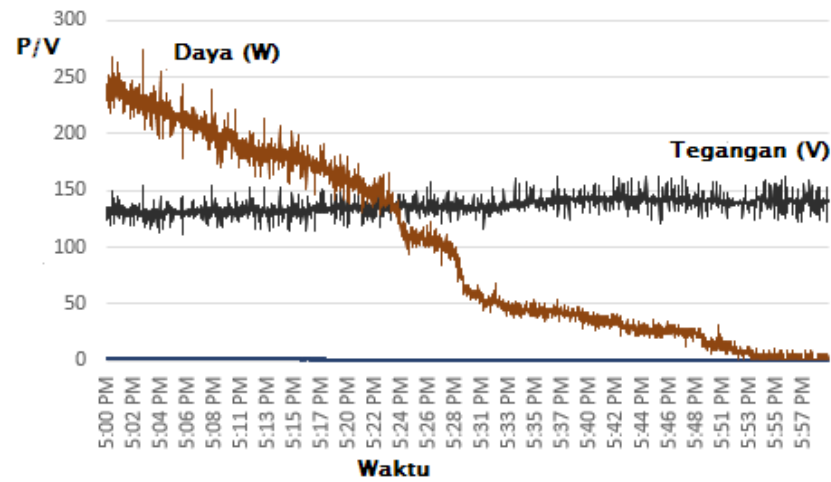
Gambar 13. Performa sinkronisasi pada waktu pagi

Sedangkan pada sore hari kenaikan tegangan 3-4 V terjadi pada saat lepas secara otomatis.

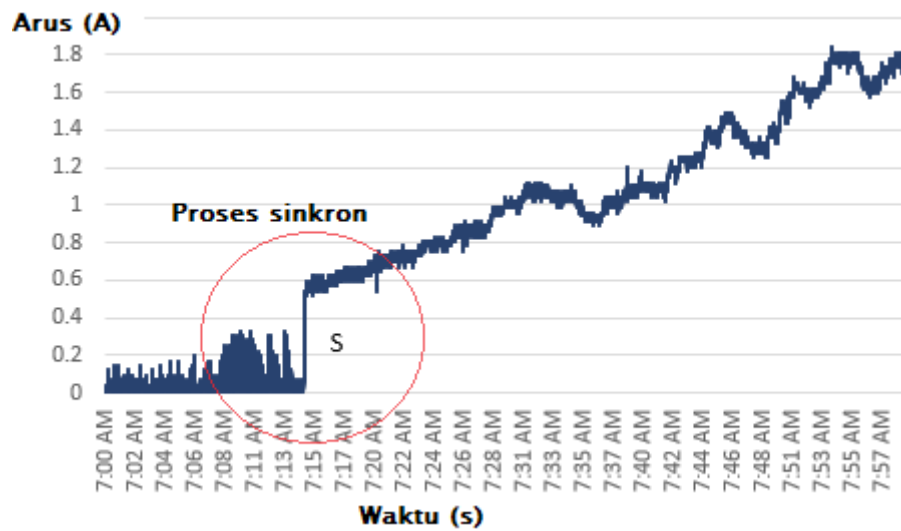
Pembesaran kurva arus pada Gambar 15 menunjukkan bahwa waktu sinkron terjadi pada 7:14 untuk kondisi langit yang cerah. Proses sinkronisasi telah berhasil pada 7:14, ditandai dengan arus listrik PV dan daya yang terus meningkat. Proses sinkronisasi berhasil dilakukan bahkan dalam kondisi cuaca buruk ketika sinar matahari rendah secara otomatis, hanya saja waktu sinkronnya lebih lambat dari pada pada saat cuaca cerah.

Pada Gambar 16 diperlihatkan kurva daya keluaran PLTS selama satu hari penuh. Pada kondisi cuaca cerah terjadi kenaikan daya keluaran PLTS, sedangkan pada

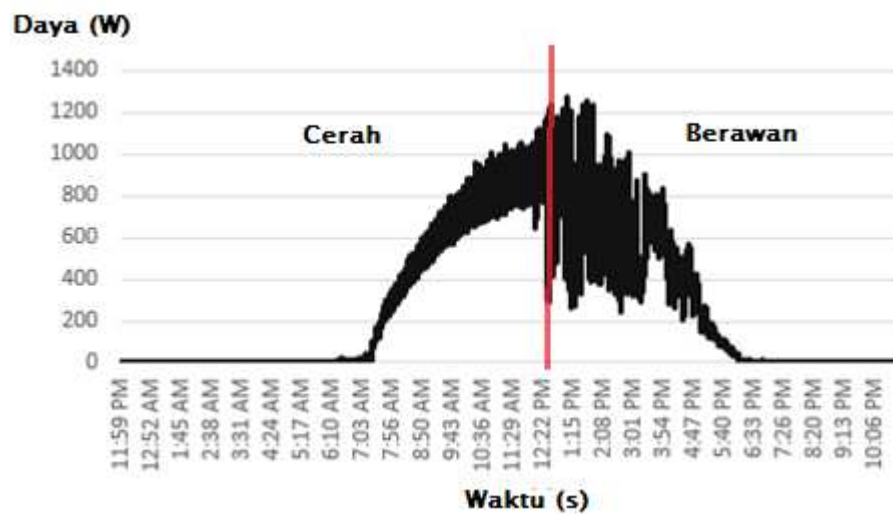
kondisi mendung dan berawan, daya keluaran PLTS menunjukkan profil yang tidak teratur. Besar energi listrik rata-rata yang dapat dihasilkan PLTS 1,25 kWp untuk kondisi cuaca cerah adalah 6,7 kWh, sedangkan untuk cuaca berawan/mendung turun menjadi 5,4 kWh dan pada kondisi hujan turun menjadi 1,53 kWh. Daya dan energi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai parameter pertimbangan studi kelayakan untuk instalasi PV terhubung jaringan di wilayah Sumatera Barat. Di masa depan, pada saat subsidi listrik rumah tangga dikurangi atau dihilangkan, energi matahari akan menjadi alternatif yang layak dari sumber daya energi ketika dapat menghasilkan listrik dengan biaya setara dengan tarif PLN.



Gambar 14. Performa keluar dari sinkronisasi pada waktu sore



Gambar 15. Kurva arus (Ampere) selama proses sinkronisasi



Gambar 16. Kurva arus (Ampere) selama proses sinkronisasi

V. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan perangkat *monitoring* potensi energi surya yang dapat mengukur tegangan, arus dan energi serta temperatur dan kelembaban berbasis mikrokontroler. Pengukuran potensi energi surya dilakukan di kota Padang Sumatera Barat, di atas Gedung Jurusan Teknik Elektro. Sistem *monitoring* secara langsung dan *real time* dengan menggunakan software VB.NET akan mempermudah pemantauan secara langsung konversi energi yang dihasilkan oleh panel surya. Bahasa pemrograman Visual Basic. NET yang menghasilkan aplikasi berbasis GUI dapat merekam data dan disimpan pada Microsoft Excel. Pada sensor arus, sensor tegangan, dan sensor suhu/kelembaban memiliki keakuratan dan selisih dalam pembacaan dalam batas normal. Analisa performansi PLTS terdiri dari proses sinkronisasi, kurva daya, dan energi listrik yang dapat dihasilkan oleh PLTS *rooftop*. Panel surya rata-rata mulai menghasilkan tenaga listrik dari jam 7:00 pagi hingga 6:00 sore untuk cuaca cerah, namun untuk cuaca hujan daya listrik PLTS menurun dan terputus lebih awal sebelum matahari terbenam. Hasil yang disajikan menunjukkan bahwa kinerja sistem PLTS terhubung jaringan PLN sangat tergantung dari kondisi cuaca. Data hasil *monitoring* potensi daya dan energi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai parameter pertimbangan kelayakan pemasangan PLTS *rooftop* pada daerah tropis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DRPM Kemenristekdikti atas bantuan pendanaan publikasi yang diberikan melalui skema Penelitian Tim Pascasarjana 2018.

REFERENSI

- [1] T. Konnelly, "Strategi Pencapaian Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Indonesia Sampai Tahun 2025," Tesis. Pascasarjana Universitas Indonesia, 2011.
- [2] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG Provinsi Sumatera Barat kota Padang), Data Iklim Harian, 2016-2017.
- [3] Y.M.Irwan, W.Z.Leow, M.Irwanto, Fareq.M, A.R.Amelia, N.Gomesh, *et al.*, "Indoor Test Performance of PV Panel through Water Cooling Method ", *elsevier*, pp. 604-611, 2015.
- [4] R. Ikhsan, I. D. Sara, and R. S. Lubis, "Study Kasus Kelayakan Penerapan Sistem Hybrid Building Applied Photovoltaics (BAPV)- PLN pada Atap Gedung Politeknik Aceh," *Rekayasa Elektriika*, vol. 13, No 1, pp. 48-56, April 2017.
- [5] M. Gagliarducci, D. a. Lampasi, and L. Podesta, "GSM-based monitoring and control of photovoltaic power generation," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 40, no. 3, pp. 314-321, 2007.
- [6] N. C. Batista, R. Melício, J. C. O. Matias, and J. P. S. Catalão, "Photovoltaic and wind energy systems monitoring and building/home energy management using ZigBee devices within a smart grid," *Energy*, vol. 49, no. 1, pp. 306-315, 2013.
- [7] Syafii, M Ilhamdi Rusydi, Roni Putra, M Hadi Putra, Real-Time Measurement of Grid Connected Solar Panels Based on Wireless Sensors Network, 2016 *International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA)*, 2016
- [8] T. Hu, M. Zheng, J. Tan, L. Zhu, and W. Miao, "Intelligent photovoltaic monitoring based on solar irradiance big data and wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 35, pp. 127-136,
- [9] 2015. M. R. Fachri, I. D. Sara, and Y. Away, "Pemantau Parameter Panel Surya Berbasis Arduino secara Real Time," *Rekayasa Elektriika*, vol. 11, No 4, pp. 123-128, Agustus 2015.
- [10] Hagerman, S., Jaramillo, P. & M Granger Morgan, 2016. Is rooftop solar PV at socket parity without subsidier? *Energy Policy*, 89, p.8494.
- [11] ICA_Solar, 2015. Product Catalog 2015.
- [12] Petinrin.J.O, Shaaban M. (2012), Overcoming Challenges of Renewable Energy on Future Smart Grid. *TELKOMNIKA International Journal*. 2012; 10(2): 229-234.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

